

寒区渠道 模袋混凝土衬砌 适应性研究

申向东 高鑫 李亚童 刘昱 赵贵成 / 著

HANQU QUDAO
MODAI HUNNINGTU CHENQI
SHIYINGXING YANJIU



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

寒区渠道模袋混凝土衬砌 适应性研究

申向东 高 鑫 李亚童 刘 昱 赵贵成 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书考虑内蒙古河套灌区地域特征和气候环境,对模袋混凝土渠道衬砌在河套灌区的适应性展开了详细研究。对现役模袋混凝土衬砌渠道的力学性能和耐久性进行了系统全面的检测与评估,并深入探讨模袋混凝土的抗冻性机理。

本书根据内蒙古河套灌区不同灌域的原材料特点,对模袋混凝土的配合比进行优化设计。研究5种不同粉煤灰掺量对模袋混凝土耐久性性能的影响规律,利用孔结构分析仪分析混凝土内部的微观孔隙结构特征,研究模袋混凝土在冻融循环作用下的内部损伤规律,结合实验室内混凝土冻融试验成果,探讨了模袋混凝土的抗冻耐久性机理。

本书可供有关水利工程、农业工程等专业技术人员和研究人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

寒区渠道模袋混凝土衬砌适应性研究 / 申向东等著

— 北京 : 中国水利水电出版社, 2017.5

ISBN 978-7-5170-5344-6

I. ①寒… II. ①申… III. ①寒区—灌溉渠道—模袋混凝土—混凝土衬砌—抗冻性—研究 IV. ①TV331

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第092935号

| | |
|------|---|
| 书 名 | 寒区渠道模袋混凝土衬砌适应性研究 HANQU QUDAO MODAI HUNNINGTU CHENQI SHIYINGXING YANJIU |
| 作 者 | 申向东 高 矗 李亚童 刘 昱 赵贵成 著 |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn |
| 经 售 | 电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点 |
| 排 版 | 北京智博尚书文化传媒有限公司 |
| 印 刷 | 三河市佳星印装有限公司 |
| 规 格 | 170mm×240mm 16开本 12印张 213千字 |
| 版 次 | 2017年8月第1版 2017年8月第1次印刷 |
| 印 数 | 0001—2000册 |
| 定 价 | 42.00元 |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

近年来,因内蒙古河套灌区节水改造工程中的模袋混凝土整体性能好、强度高、耐磨、抗化学腐蚀等特点,人们将其作为一种新型现浇混凝土技术运用到总干渠、干渠及斗渠等多处渠道衬砌中。从目前运行情况来看,大部分模袋混凝土渠道衬砌发挥了较好的效果,但也有部分地区应用效果并不十分理想,浇筑过程中出现浇筑困难、灌注不均、涨袋起拱、流动性差、整体形变等现象,而如果一味地增大水灰比,虽然可以提高其流动性,灌注流畅,施工方便,加快进度,但会对模袋混凝土日后的抗冻性产生不利影响。同时针对现役模袋混凝土渠道衬砌服役情况,也有必要进行检测评估。

针对河套灌区的地域和气候特点,有关模袋混凝土在河套灌区的适应性等相关研究尚未开展,相关已有的技术设计方案缺乏理论支撑,现役模袋混凝土衬砌渠道的力学性能和耐久性缺乏系统与合理的评价。如不能解决上述问题,模袋混凝土衬砌渠道的质量和工程造价难以控制,模袋混凝土对河套灌区渠道的影响难以鉴定和评估,将会对模袋混凝土在河套灌区的推广应用产生严重阻碍。因此,迫切需要针对已衬砌模袋混凝土渠道进行系统的质量检验检测,科学评定其力学性能和耐久性,对其在内蒙古河套灌区渠道衬砌中的适应性作出综合评价。内蒙古农业大学工程结构与材料研究所受巴彦淖尔市黄河水权收储转让工程建设管理处委托,对已建成的模袋混凝土进行了检测和评估。

本书检测试件均取自内蒙古河套灌区现役渠道工程,对模袋混凝土芯样试件进行抗压强度测试,利用格拉布斯检验法、t 检验法对推算结果进行比较,通过配合比对各组进行分析,对应力-应变关系进行分析并建立其本构方程,最后通过扫描电镜分析试件的微观结构,对宏观结论加以验证,并对模袋混凝土力学性能机理进行研究。本书研究了现役渠道模袋混凝土的抗冻性能,对芯样试件进行冻融循环试验,使用快速冻融法,用芯样试件的质量损失率和相对动弹性模量作为评价冻融性能的指标,并用 SEM 扫描电镜对其微观结构进行分析,探讨模袋混凝土抗冻性机理。

为了进一步将模袋混凝土在北方寒区推广运用,在已优化的配合比基础上,本书通过改变粉煤灰的不同掺加量,来研究不同粉煤灰掺量对模袋混凝土力学性能、抗冻性能的影响。粉煤灰作为一种工业废料,具有改善模袋混凝土的和易性等作用,相比水泥又具有较强的价格优势,因此,在不影响模袋混凝土工作性能的前提下,应尽可能多地使用粉煤灰,可以起到变废为宝、保护环境的作用,对

建设环境友好型社会也具有积极意义。

本书根据内蒙古河套灌区不同灌域的原材料特点，选取磴口县、临河区、五原县、乌拉特前旗作为试验地点，前往各试验点取回所需试验原材料，对各试验点的原材料（水泥、石子、沙子、粉煤灰、水）进行检测，确定其能否满足相关规范对原材料的要求。根据模袋混凝土的特点，参照相关规范以及现役模袋混凝土配合比，分析现役模袋混凝土抗冻性不足的原因，添加引气剂，增大混凝土的含气量，对模袋混凝土的配合比进行优化设计。确定基准配合比之后，利用粉煤灰内掺法，替代不同比例的水泥，研究 5 种不同粉煤灰掺量对模袋混凝土力学性能的影响规律。采用“快冻法”，以质量损失率和相对动弹性模量作为评价指标，研究 5 种不同粉煤灰掺量对模袋混凝土抗冻性的影响规律，对比分析两个指标的规律异同。利用孔结构分析仪分析混凝土内部的微观形貌，研究模袋混凝土在冻融循环作用下的内部损伤规律，结合冻融结果，探讨模袋混凝土的抗冻耐久性机理。并将室内试验配合比优化成果应用于河套灌区的模袋混凝土衬砌工程中，进行野外试验，且对野外试验段进行检测与评估，结果表明其服役效果较佳，能够满足河套灌区实际服役环境的要求。

本书的研究内容得到了国家自然科学基金（51569021）、教育部创新团队计划（IRT13069）、内蒙古自治区科技计划（应用与研究开发项目）（20130425）、内蒙古巴彦淖尔市黄河水权收储转让工程建设管理处等的资助。

本书的成果有：在国家核心期刊及大型国际会议上共发表学术论文 3 篇，为渠道模袋混凝土管理、建设单位提交相关研究报告 5 个（已在内蒙古河套灌区的实际工程中得到应用）。

参加本项目的研究人员有：内蒙古农业大学申向东、何梁、王晓飞、高矗、李亚童、董伟、薛慧君、刘昱、李根峰、樊浩伦、何静、田晓敏、赵曦等；内蒙古巴彦淖尔市黄河水权收储转让工程建设管理处赵贵成、步丰湖、温俊、曹冲、孙晓东、余淼、周龙伟、马建军、吉仁古日巴、张生、高俊通等。全书由申向东、高矗统稿。

本书所研究的内容属于建筑材料、水利工程及工程力学的交叉学科，同时影响渠道模袋混凝土强度和抗冻性能的因素众多，本书仅对内蒙古河套地区渠道模袋混凝土进行了初步的研究。许多问题仍在研究与探索阶段，作者虽夙兴夜寐、尽心尽力，但水平有限，书中难免有不足之处，敬请读者和专家批评指正。

作者

2017 年 3 月

目 录

| | |
|---------------------------|----|
| 前言 | |
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 研究背景及意义 | 1 |
| 1.2 模袋混凝土研究现状 | 7 |
| 1.2.1 模袋混凝土概况 | 7 |
| 1.2.2 模袋混凝土国内外研究现状 | 8 |
| 1.3 混凝土无损检测研究现状 | 10 |
| 1.3.1 混凝土无损检测概况 | 10 |
| 1.3.2 混凝土无损检测研究现状 | 11 |
| 1.4 模袋混凝土抗冻耐久性研究现状 | 13 |
| 1.5 模袋混凝土冻融损伤机理 | 14 |
| 1.6 本书的主要研究内容 | 15 |
| 第 2 章 研究概况与试验方法 | 17 |
| 2.1 工程项目概况 | 17 |
| 2.2 试验配合比 | 20 |
| 2.2.1 沈乌灌域各标段混凝土配合比 | 20 |
| 2.2.2 乌兰布和灌域各标段混凝土配合比 | 21 |
| 2.2.3 乌拉特灌域各标段混凝土配合比 | 23 |
| 2.3 研究方案 | 24 |
| 2.4 现役模袋混凝土芯样制取及加工方案 | 25 |
| 2.4.1 芯样制取目的及依据 | 25 |
| 2.4.2 芯样钻取步骤 | 26 |
| 2.4.3 各灌域现役模袋混凝土取芯方案 | 27 |
| 2.5 河套灌区现役模袋混凝土取芯及加工情况汇总 | 32 |
| 2.6 试验仪器设备 | 34 |
| 第 3 章 模袋混凝土配合比设计研究 | 40 |
| 3.1 试验概况 | 40 |
| 3.1.1 原材料选取方案 | 40 |
| 3.1.2 配合比设计要求 | 42 |
| 3.2 原材料检测 | 42 |
| 3.2.1 水泥基本性能 | 42 |

| | | |
|------------|-------------------------|------------|
| 3.2.2 | 粉煤灰基本性能 | 50 |
| 3.2.3 | 细骨料 | 53 |
| 3.2.4 | 粗骨料 | 65 |
| 3.2.5 | 其他试验材料 | 70 |
| 3.3 | 模袋混凝土配合比优化设计 | 71 |
| 3.3.1 | 模袋混凝土对配合比的特殊要求 | 71 |
| 3.3.2 | 可供参考的现役模袋混凝土配合比 | 72 |
| 3.3.3 | 现役模袋混凝土的取样检测 | 73 |
| 3.3.4 | 检测结果分析 | 74 |
| 3.3.5 | 模袋混凝土配合比的优化设计 | 76 |
| 3.3.6 | 混凝土配合比的试配、调整 | 76 |
| 3.3.7 | 试件的制备 | 78 |
| 3.4 | 本章小结 | 79 |
| 第4章 | 模袋混凝土力学性能试验研究 | 81 |
| 4.1 | 试验概况 | 81 |
| 4.2 | 立方体抗压强度试验 | 81 |
| 4.2.1 | 立方体抗压强度试验结果 | 81 |
| 4.2.2 | 立方体抗压强度试验结果分析 | 82 |
| 4.3 | 本章小结 | 88 |
| 第5章 | 现役模袋混凝土力学性能研究及预测 | 89 |
| 5.1 | 试验概况 | 89 |
| 5.2 | 现役模袋混凝土芯样试件抗压强度试验 | 91 |
| 5.2.1 | 两种剔除方法对比 | 91 |
| 5.2.2 | 模袋混凝土抗压破坏形态分析 | 96 |
| 5.3 | 模袋混凝土应力-应变关系分析 | 98 |
| 5.4 | 模袋混凝土的本构方程 | 99 |
| 5.5 | 模袋混凝土微观结构及机理分析 | 102 |
| 5.6 | 利用BP网络预测模袋混凝土芯样抗压强度 | 104 |
| 5.6.1 | BP网络的建立 | 104 |
| 5.6.2 | BP网络测试结果分析 | 106 |
| 5.7 | 利用RBF网络预测模袋混凝土芯样抗压强度 | 109 |
| 5.8 | 模袋混凝土强度预测的敏感性分析 | 111 |
| 5.9 | 本章小结 | 117 |
| 第6章 | 模袋混凝土抗冻融性能试验研究 | 119 |
| 6.1 | 试验概况 | 119 |

| | | |
|------------|------------------------|------------|
| 6.2 | 质量损失率 | 120 |
| 6.2.1 | 质量损失率试验结果 | 120 |
| 6.2.2 | 质量损失率试验结果分析 | 121 |
| 6.3 | 相对动弹性模量 | 122 |
| 6.3.1 | 相对动弹性模量试验结果 | 122 |
| 6.3.2 | 相对动弹性模量试验结果分析 | 122 |
| 6.4 | 冻融破坏形态分析 | 123 |
| 6.5 | 本章小结 | 126 |
| 第7章 | 现役模袋混凝土抗冻性研究及预测 | 127 |
| 7.1 | 试验概况 | 127 |
| 7.2 | 试验数据整理分析 | 127 |
| 7.2.1 | 模袋混凝土冻融循环破坏形态分析 | 127 |
| 7.2.2 | 质量损失率试验结果及分析 | 129 |
| 7.2.3 | 相对动弹性模量试验结果及分析 | 131 |
| 7.3 | 微结构特征及机理分析 | 133 |
| 7.4 | 利用BP网络预测模袋混凝土芯样抗冻性 | 135 |
| 7.4.1 | BP网络的建立 | 135 |
| 7.4.2 | 模袋混凝土相对动弹性模量预测 | 136 |
| 7.4.3 | 模袋混凝土质量损失预测 | 138 |
| 7.5 | 利用RBF网络预测模袋混凝土芯样抗冻性 | 139 |
| 7.5.1 | 模袋混凝土相对动弹性模量预测 | 139 |
| 7.5.2 | 模袋混凝土质量损失率预测 | 140 |
| 7.6 | 本章小结 | 141 |
| 第8章 | 孔结构分析试验研究 | 143 |
| 8.1 | 试验概况 | 143 |
| 8.2 | 孔结构分析 | 143 |
| 8.2.1 | 气泡个数频数 | 143 |
| 8.2.2 | 气泡平均半径 | 144 |
| 8.2.3 | 气孔间距系数 | 145 |
| 8.2.4 | 气泡比表面积 | 146 |
| 8.3 | 本章小结 | 147 |
| 第9章 | 模袋混凝土试验段检测及评估 | 148 |
| 9.1 | 试验段实施背景 | 148 |
| 9.2 | 试验段概述 | 148 |
| 9.3 | 模袋混凝土试验段强度及抗冻性检测 | 150 |

| | | |
|---------------|------------------------------------|------------|
| 9.3.1 | 模袋混凝土试验段力学性能检测 | 151 |
| 9.3.2 | 模袋混凝土试验段抗冻性检测 | 151 |
| 9.4 | 冻融后微结构特征及机理分析 | 152 |
| 9.5 | 模袋混凝土试验段评估 | 153 |
| 9.6 | 本章小结 | 154 |
| 第 10 章 | 结语 | 156 |
| 10.1 | 结论 | 156 |
| 10.2 | 展望 | 159 |
| 附录 1 | 利用 BP 神经网络预测模袋混凝土强度及抗冻性训练程序 | 161 |
| 附录 2 | 模袋混凝土强度预测训练样本数据 | 163 |
| 附录 3 | 模袋混凝土相对动弹性模量预测 训练样本数据 | 172 |
| 附录 4 | 模袋混凝土质量损失率预测训练样本数据 | 176 |
| | 参考文献 | 179 |

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景及意义

我国疆域辽阔，各种资源总量大、种类全，但人均占有量少。其中，全国水资源总量约为 28000 亿 m^3 ，居世界第六位，但人均占有量不足 $2100m^3$ ，仅为世界人均占有量的 1/4，中国已被联合国列为 13 个最贫水国家之一^[1-3]。资料显示：近年来，我国可利用供水量不足水资源总量的 30%，而农业用水量占到全国总供水量的 60%以上；以 2014 年为例，全国总供水量 6095 亿 m^3 ，生活用水占总供水量的 12.6%，工业用水占 22.2%，农业用水占 63.5%，生态环境补水占 1.7%。可以看出，绝大部分可利用供水量都消耗在农业用水上，而农业用水中的灌溉用水占农业总用水量的 90%以上^[4]。

随着经济社会的发展及人民生活水平的提高，工业和生活用水的消耗量将不断增加，而农业用水的消耗量将不会有大的增加空间。同时，我国水资源的分布并不均匀，南方多北方少，东部多西部少，整体呈现出从东南沿海地区向西北内陆递减的趋势^[2]（图 1-1），这无疑更加重了我国北方地区，尤其是北方偏西部地区的用水负担。



图 1-1 我国水资源分布

Fig.1-1 Distribution of water resources in china

要解决我国农业灌溉面临的缺水、耗水问题,必须发展节水灌溉,提高输水利用率,通过农业用水内部挖潜来解决^{[5][6]}。据统计,目前我国农业用水的有效利用率平均只有45%,超过一半的输水渠道为“裸渠”,即农田灌溉时,经土渠输送,沿途损失的水量高达输水总量的50%以上^[7],大量的灌溉用水白白流失,如何提高输水渠道的输水利用率是亟待解决的问题。输水渠道的衬砌防渗是减少输水损失的有效途径,对输水渠道进行衬砌,可有效减少渗漏损失的70%~80%,同时提高输水渠道水流流速,应用效果显著^{[8]-[10]}。因此,做好渠道衬砌防渗工程,提高渠系水利用率,是实现节水型农业的重要举措。在水利工程中,混凝土衬砌渠道是一种具有较高节水能力的水工建筑物,已被广泛应用于我国各地区农业灌溉中。

河套灌区是中国设计灌溉面积最大的灌区,位于内蒙古自治区西部的巴彦淖尔市。河套灌区西接乌兰布和沙漠,东至包头九原区,南临黄河,北抵阴山,东西长270km,南北宽40~75km,总面积105.33万余公顷。灌区地形平坦,西南高,东北低,海拔1007~1050m,坡度0.125‰~0.2‰(图1-2)。河套灌区地处黄河上中游内蒙古段北岸的冲积平原,夏季高温干旱、冬季严寒少雪,寒暑变化剧烈;全年降雨量小,为130~250mm,蒸发量大,为2000~2400mm;无霜期短、封冻期长,是典型的温带大陆性气候,从来就是没有灌溉便没有农业的地区^{[11][12]}。因此,作为国家重要的商品粮、油基地,解决该地区的农田灌溉问题就显得尤为重要。

河套灌区引黄灌溉条件便利,黄河流经灌区南部边缘345km,以三盛公水利枢纽为取水构筑物引黄河水浇灌,年均引黄用水量约48亿m³;现有总干渠1条,干渠13条,分干渠48条,支渠372条,斗、农、毛渠8.6万多条;总灌溉面积1679.31万亩,实际灌溉面积861.54万亩。河套灌区的农业灌溉多依靠输水渠道,且大部分地区以“裸渠”或混凝土板衬砌渠道作为灌溉输水渠道(图1-3),在输水过程中有近50%的水会沿土坡、混凝土板衬砌渠道的底板及坡板缝隙渗漏到周边无须灌溉的土壤中,造成水资源的大量浪费。面对黄河沿岸水资源日益紧缺、用水高峰难错开的严峻形势,从2005年开始,河套灌区建设进入以节水改造为目的的建设新阶段,灌区逐步进行节水改造工程,其主要内容为渠道衬砌防渗改造及建筑物配套工程。近些年,因模袋混凝土具有整体性好、施工简便快速等特点被大面积推广,河套灌区节水改造工程将其作为一种新型现浇混凝土衬砌技术运

用到灌区渠道衬砌中（图 1-4）。将模袋混凝土运用到河套灌区渠道衬砌工程中，对输水渠道进行硬化的同时使渠道的整体性能得到提高，可有效防止灌溉水在输送过程中由渗漏造成的浪费，使内蒙古河套灌区渠系建设更加合理、科学，对创建节约型社会具有积极意义。



图 1-2 河套灌区地区详图

Fig.1-2 Detail area in Hetao Irrigation District



图 1-3 混凝土衬砌板渠道

Fig.1-3 The concrete lining plate channel



图 1-4 模袋混凝土衬砌渠道

Fig.1-4 The mold-bag-concrete lining channel

相较于传统的混凝土板渠道衬砌，模袋混凝土衬砌具有整体性好、施工简便快速、抗渗防漏效果好等优点，更加符合内蒙古河套灌区的实际工程需要。参考近年来辽宁、吉林、黑龙江等东北地区对模袋混凝土在输水渠道、河堤护岸等方面的工程实例及其相关经验^[13]，内蒙古河套灌区也开始重视并引进该项衬砌技术，在各灌域干渠的输水渠道中相继展开应用。但由于缺乏施工经验，技术力量参差不齐，部分地区衬砌的模袋混凝土在施工和使用过程中存在浇筑困难、灌注不均、涨袋起拱、表面剥落、整体形变、部分断裂以及抗冻性差等问题（图 1-5），这都对模袋混凝土渠道衬砌技术在内蒙古河套灌区的推广应用造成困难，以上问题除了施工质量方面的因素外，模袋混凝土的配合比设计不当也是重要原因。因此，为更好地推广模袋混凝土在北方寒区渠道衬砌中的应用，有必要充分利用河套灌区当地砂、石、矿物掺合料等资源，结合模袋混凝土对混凝土的和易性、力学指标和耐久性的相关要求，系统开展模袋混凝土室内外配合比优化设计试验研究，研制出具有广泛适应性的现场混凝土施工配合比，为模袋混凝土在北方寒区渠道衬砌中的应用提供强有力的理论支撑。

本书以此为契机，选取河套灌区不同灌域具有代表性的几个灌渠，就地取材对原材料性能进行检测并对比分析，在现役模袋混凝土原有配合比的基础上，进行配合比优化设计，然后选出具有代表性的配合比，进行力学性能试验和抗冻性能试验并进行机理分析，这将对模袋混凝土性能的深入研究及其后续推广应用具

有重要指导意义。同时，在已优化的配合比基础上，通过改变粉煤灰掺量，来研究不同粉煤灰掺量对模袋混凝土力学性能、抗冻性能的影响。粉煤灰作为一种工业废料，具有改善模袋混凝土的和易性等作用，相比水泥又具有较强的价格优势，因此，在不影响模袋混凝土工作性的前提下，应尽可能多地使用粉煤灰，可以起到变废为宝、保护环境的作用，对建设环境友好型社会也具有积极意义。

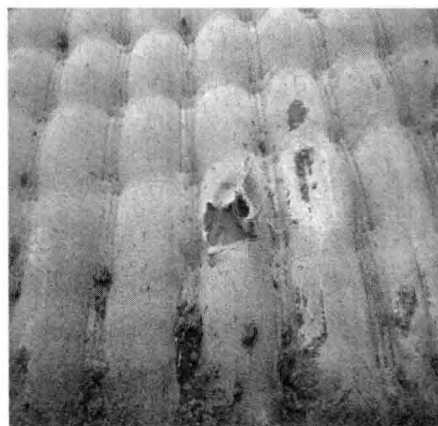
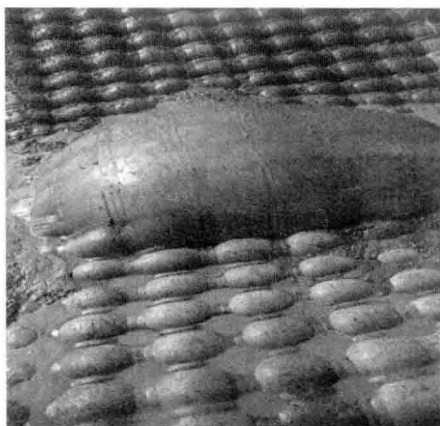
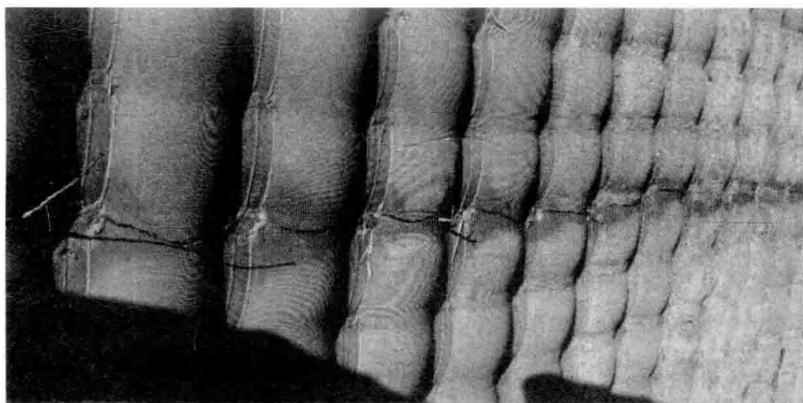


图 1-5 模袋混凝土使用过程中存在的问题

Fig.1-5 Existing problems in the use of mold-bag concrete

河套灌区沈乌灌域一干渠上段、建设一分干、建设二分干控制范围渠系工程是内蒙古黄河干流水权盟市间转让河套灌区沈乌灌域试点工程第一批实施项目中的渠系工程部分。建设任务是一干渠上段、建设一分干、建设二分干三个系统的

斗以上渠道的防渗衬砌改造及建筑物配套工程，建设内容是斗以上渠道衬砌改造总计 693 条，合计总长度 1390.65km，新建各类渠系建筑物 9015 座。按照项目总体工程方案和进度安排，项目拟在一干渠、总干渠、丰济渠、沙河渠和南边三千渠等 5 处采用 C20、F200、W6 的模袋混凝土进行渠道衬砌，模袋混凝土厚度由工程中所遇到的不同边界条件的受力因素确定，取 10cm、12cm、15cm 三种厚度。截至 2014 年 5 月，5 处模袋混凝土衬砌工作已相继完工。从已建工程的运行情况、工程造价、管理运行、维修养护、施工方便、安全稳定等方面进行比较分析，模袋混凝土具有一次成型、施工速度快、质量容易控制、可在水上或水下直接浇筑、成型后不易破损、大幅减轻管理维护负担等优点，能够取得显著的经济、社会和生态效益，初步确定可在河套灌区大面积推广应用。

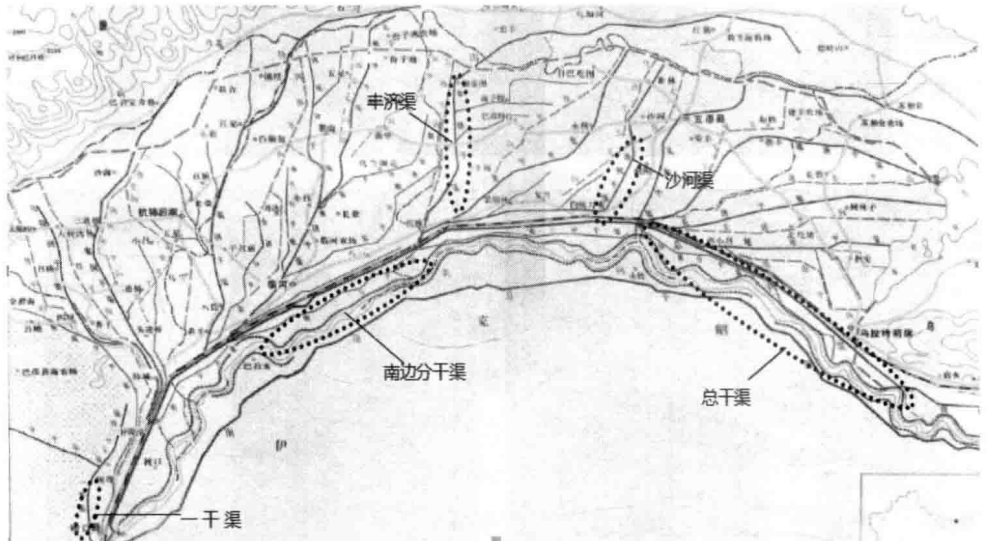


图 1-6 沈乌灌域模袋混凝土衬砌渠道位置分布图

Fig.1-6 The location map of mold-bag-concrete lining canals of Shenwu irrigation

经过在一干渠、总干渠、丰济渠、沙河渠和南边分干渠等 5 处进行模袋混凝土渠道衬砌试点和示范，初步总结出一套适用于河套灌区渠道衬砌的模袋混凝土施工技术方案，制定了初步的施工技术要求和质量控制要点，为模袋混凝土推广应用奠定了基础。然而，针对河套灌区的地域和气候特点，有关模袋混凝土在河套灌区的适应性等相关研究尚未开展，相关已有的技术方案缺乏理论支撑，现役

模袋混凝土衬砌渠道的力学性能和耐久性缺乏系统和合理的评价,如不能解决上述问题,将会对模袋混凝土在河套灌区的推广应用产生严重阻碍,模袋混凝土衬砌渠道的质量和工程造价将难以控制,模袋混凝土对河套灌区渠道的影响也将难以鉴定和评估。因此,迫切需要针对已衬砌模袋混凝土渠道进行系统的质量检测,科学评定其力学性能和耐久性,对其在河套灌区渠道衬砌中的适应性作出综合评价。鉴于模袋混凝土在北方寒区水利工程中应用较少,本书结合实际工程,针对处于北方寒区气候及环境下的现役模袋混凝土衬砌渠道,进行大量取样研究并检测其力学性能及抗冻性能,利用扫描电镜探讨微观机理,对模袋混凝土在北方寒区大面积应用具有重要意义,同时对现役混凝土建筑的实时监测提供了有利的参考价值。另外,运用人工神经网络对实际工程中模袋混凝土的力学性能及抗冻性进行预测,可以更加准确地了解模袋混凝土衬砌渠道的现状,对今后的使用或加固提供了理论依据,同时对未建工程的设计与施工提供参考依据,减少试验次数、试验时间的同时节约了施工成本,提高模袋混凝土衬砌渠道工程的质量。

1.2 模袋混凝土研究现状

1.2.1 模袋混凝土概况

模袋混凝土技术是从国外引进的一种现浇混凝土技术,采用织物模袋做软模具,通过混凝土泵将混凝土充灌进模袋成型,起到护坡、护底、防渗等作用,具有整体性能好、强度高、耐磨、抗化学腐蚀等特点^{[13][14]}(图1-7)。模袋混凝土是在普通混凝土的基础上,通过用高压泵将混凝土或水泥砂浆灌入纤维模袋中,通过袋内吊筋袋、吊筋绳(聚合物,如尼龙等)的长度来控制混凝土或水泥砂浆的厚度,混凝土或水泥砂浆固结后形成具有一定强度的板状结构或其他结构,能够满足工程的各种需求^{[15][16]}。采用混凝土模袋加固堤脚堤基的方法,具有施工速度快、省工、省料、技术简单、便于操作等特点,可按工程要求制成各种形状,灌注时柔性好,成型后紧贴地面,适用于各种复杂地形。模袋混凝土已广泛应用于内河航道护坡,船闸引航道护坡、江河湖海堤防、护岸、护底工程,引水灌溉渠道护坡等^[17]。

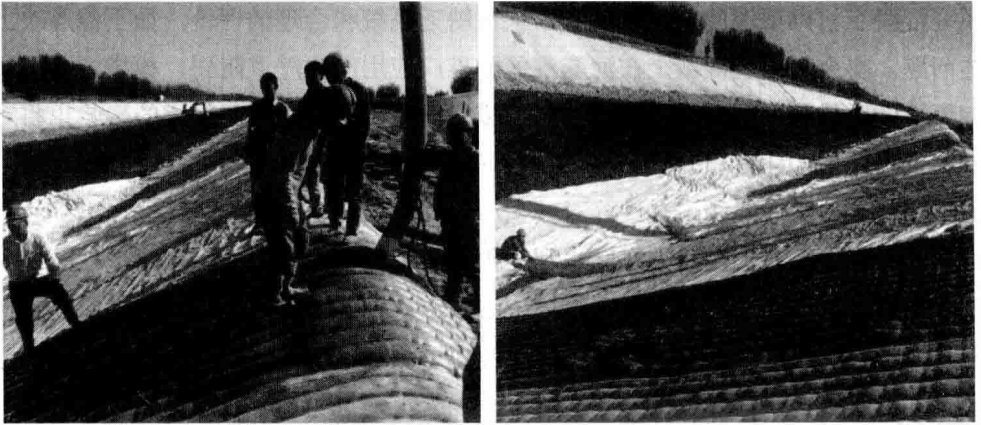


图 1-7 模袋混凝土浇筑现场

Fig.1-7 The scene of the mold-bag-concrete pouring

模袋混凝土在工程上的优势主要有以下几方面：由于模袋混凝土属于自密实混凝土，可以靠自身重力挤压成型，无须人工振捣且内部密实，所以在施工中机械化施工比例较大，加快施工速度，提高效率，缩短工期，减少人力物力消耗；模袋混凝土本身具有较好的地形适应能力，整体性能好，防风浪、抗冲刷，与普通混凝土相比耐久性得到很大提升，可以在水下直接施工，无须截流、停水；施工后较以往的工程美观、整齐度提高。

1.2.2 模袋混凝土国内外研究现状

普遍认为，模袋混凝土技术诞生于 20 世纪 60 年代末，来自荷兰的 Henry Helon 提出将材质轻便而密实且透水不泌浆的尼龙织物上下两层叠放，并用钉子及垫圈将两层布固定在一起，随即灌注混凝土浆体，使混凝土（砂浆）依靠其自身重力充填成型，以此作为护坡结构^[18]。最初，机织土工模袋技术由美国的结构技术公司垄断^[19]。从 20 世纪 80 年代开始，伴随着高分子化工业、纺织业的快速发展，土工织物也随之发展，日本旭化株式会社根据美国建筑技术公司的发明（1960 年专利），用高强度涤纶 66 型布制成了各种模袋（又称法布），土工模袋开始产业化，由此带动了模袋混凝土技术的快速应用。随后各国也研究出各种性能的织物，因此推进了模袋混凝土在土木工程上的广泛应用。模袋混凝土技术是现浇混凝土护坡、衬砌工程的一次革新，具有重大的经济意义。